

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-49403

(P2000-49403A)

(43)公開日 平成12年2月18日 (2000.2.18)

(51)Int.Cl.⁷
H 01 S 1/02
C 30 B 29/04
H 01 S 3/094
3/16

識別記号

F I
H 01 S 1/02
C 30 B 29/04
H 01 S 3/16
3/094

テマコード(参考)
4 G 0 7 7
A 5 F 0 7 2
Z

審査請求 有 請求項の数9 O.L (全8頁)

(21)出願番号 特願平10-212824
(22)出願日 平成10年7月28日 (1998.7.28)

(71)出願人 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目7番1号
(72)発明者 山本 博規
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(72)発明者 馬場 和宏
東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内
(74)代理人 100070219
弁理士 若林 忠 (外4名)

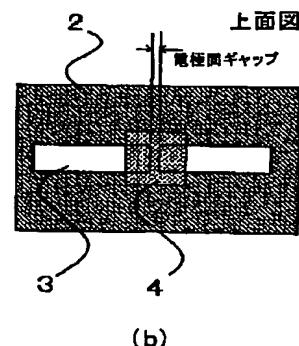
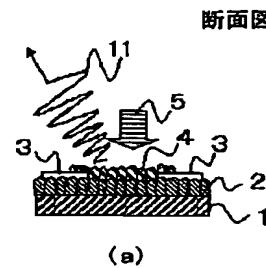
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超高周波発振素子およびそれを用いた超高周波発振装置

(57)【要約】

【課題】高強度、かつ高周波数のTHz波を発生させることのできる光伝導素子、および超高周波発振装置を提供すること。

【解決手段】基体1上に多結晶ダイヤモンド膜2を形成し、この上に電極3を設ける。励起光は多結晶ダイヤモンド膜2に照射する。多結晶ダイヤモンド膜2の結晶粒子密度は $10^6 / \text{cm}^2$ 以上とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基体と、該基体の上に設けられたダイヤモンド膜と、該ダイヤモンド膜上に離間して設けられた少なくとも一対の電極とを有し、前記ダイヤモンド膜中の光照射箇所に励起光を照射して電磁波を発生させる超高周波発振素子において、前記ダイヤモンド膜の光照射箇所が、多結晶ダイヤモンドからなることを特徴とする超高周波発振素子。

【請求項2】 前記多結晶ダイヤモンドの結晶粒子密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以上であることを特徴とする請求項1に記載の超高周波発振素子。

【請求項3】 前記一対の電極に挟まれた領域と、前記一対の電極の少なくとも一部とが、多結晶ダイヤモンドからなるオーバーコート膜で覆われていることを特徴とする請求項1または2に記載の超高周波発振素子。

【請求項4】 前記オーバーコート膜を構成する多結晶ダイヤモンドは、結晶粒子密度が $10^6 / \text{cm}^2$ 以上であることを特徴とする請求項1乃至3いかに記載の超高周波発振素子。

【請求項5】 前記励起光の光源は、パルス半値幅が1.0ピコセカンド未満のレーザであることを特徴とする請求項1乃至4いかに記載の超高周波発振素子。

【請求項6】 前記励起光のエネルギーが、前記多結晶ダイヤモンド膜のバンドギャップエネルギーより小さいことを特徴とする請求項1乃至5いかに記載の超高周波発振素子。

【請求項7】 励起光を発する光源と、該励起光が照射される超高周波発振素子と、該超高周波発振素子に備えられた電極に電圧を印加する手段とを有する超高周波発振装置において、前記超高周波発振素子は、請求項1乃至6いかに記載の超高周波発振素子であることを特徴とする超高周波発振装置。

【請求項8】 前記光源は、パルス半値幅が1.0ピコセカンド未満のレーザであることを特徴とする請求項7に記載の超高周波発振装置。

【請求項9】 前記励起光のエネルギーが、前記多結晶ダイヤモンド膜のバンドギャップエネルギーより小さいことを特徴とする請求項7または8に記載の超高周波発振装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ダイヤモンド膜を用いた超高周波発振素子およびそれを用いた装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体材料や2次非線形光学材料からなる超高周波発振素子に超短光パルスを照射することにより、光パルスの包絡線成分のフーリエ成分に対応したTHz電磁波が放出される。THz電磁波は分光分析、気体の分析、イメージングなどに適用する事ができ、近年その周

波数帯の使用が注目されている。

【0003】超高周波発振素子からのTHz電磁波の発生は、光励起電流の時間変化により電極のダイポールが変化することにより説明されている。つまりTHz波の発生には光励起電流をすばやく発生させ、それをすばやく消滅させる必要がある。このためキャリアを発生させるには、より短いパルス幅の励起光を照射した方が有利となる。なぜなら照射されている時間だけ、キャリアの発生が継続するからである。また電磁波放射強度を上げるために電極に印加する電界強度を上げる必要があり、材料には高耐圧性が求められている。

【0004】従来、この種のTHz素子は例えば「1997年10月、アプライド・フィジックス・レター、第71巻、第16号(APPLIED PHYSICS LETTER, VOL. 71, N 0.16, OCTOBER, 1997)」に示されるように、MgO上に超伝導物質であるYBCOを成膜し、このYBCOをダイポール型アンテナに成形後、チタンサファイアレーザーを照射している。この方法では超伝導電流の高速な減少と回復を利用してTHz波を放射している。

【0005】また「1997年3月、ジャパンニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス、第36巻、第3B号(JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS VOL. 36, NO. 3 B, MARCH, 1997)」に示されるようにキャリアの走行距離を短くするために、トンネル顕微鏡や原子間力顕微鏡を使いキャリアの発生する部分の間隔を数10nmとする方法がとられている。この方法はGaAs基板の上に電極となるTiを形成し、原子間力顕微鏡によってTiを酸化し、光キャリアの発生する部分を形成している。原子間力顕微鏡で作られるTi酸化物の幅は数10nmと狭いため、光キャリアの走行距離を短くする事ができ、これによりTHz波の放出が行われている。

【0006】また「1997年9月、応用物理、第66巻、第9号」に示されるように、電場中にサンプルをおきTHz波を放出させることにより、高輝度のTHz放出に成功している。

【0007】近年、耐圧が最も大きいダイヤモンドを用いた素子も開発されていて「1986年1月、アイ・イー・イー・イー・ジャーナル・オブ・カンタム・エレクトロニクス、第QE-10巻、第1号(IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. QE-22, NO. 1, JANUARY, 1986)」に示されるように、単結晶ダイヤモンドに超高周波発振素子を作製し、励起光としてpsパルスが発生可能なNd:YAGレーザーを用いて全半値幅約400psのパルス波形を得ている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上述の従来技術は、以下のような問題点を有していた。

【0009】超伝導物質を用いた超高周波発振素子は、THz発生のためには素子のほかに特殊な装置が必要になることが問題となる。この種の素子において高強度THz

波を発生するためには、超伝導物質を用いるためサンプルを冷却したり、磁場印加の為のマグネットを設置する必要があるからである。

【0010】G a A s 等の半導体材料を用いた超高周波発振素子においては、素子を作製するために特殊な微細加工技術を要することが問題となる。光キャリアの走行距離を短くするために電極間の間隔を短くする必要があり、これには従来行われているようなリソグラフ技術ではなく、原子間力顕微鏡やトンネル顕微鏡を使った加工法が必要となる。この原子間力顕微鏡やトンネル顕微鏡による加工は操作が複雑な上、同時に広い範囲の加工を行うことが困難であり、この点で改善の余地を有している。

【0011】また単結晶ダイヤモンドを用いた超高周波発振素子においては、キャリア寿命が長く、高効率の素子を得ることは困難であり、特に高周波数のTHz波を得ることはきわめて困難であった。単結晶ダイヤモンド中には再結合中心が充分に存在しないためである。また、単結晶ダイヤモンドはバンドギャップが広いため使用するレーザーはこのバンドギャップのエネルギーより高いエネルギーを持つ必要がある。フェムト秒レーザーのようなパルス幅の狭いレーザーは波長が長く単結晶ダイヤモンドのバンドギャップエネルギーより小さいため使用することができなかった。

【0012】また、上述した従来の超高周波発振素子は絶縁耐圧特性が充分でなく、電極間に高電圧を印加した際、リーク電流の増加あるいは絶縁破壊のため素子が正常に機能しなくなることがあった。したがって、充分に高強度のTHz波を発生させることは困難であり、この点で改善の余地を有していた。

【0013】本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、高強度、かつ高周波数のTHz波を発生させることのできる超高周波発振素子、および超高周波発振装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、基体と、該基体の上に設けられたダイヤモンド膜と、該ダイヤモンド膜上に離間して設けられた少なくとも一対の電極とを有し、前記ダイヤモンド膜中の光照射箇所に励起光を照射して電磁波を発生させる超高周波発振素子において、前記ダイヤモンド膜中の光照射箇所が、多結晶ダイヤモンドからなることを特徴とする超高周波発振素子が提供される。

【0015】また本発明によれば、励起光を発する光源と、該励起光が照射される超高周波発振素子と、該超高周波発振素子に備えられた電極に電圧を印加する手段とを有する超高周波発振装置において、前記超高周波発振素子を、上述の本発明の超高周波発振素子としたことを特徴とする超高周波発振装置が提供される。

【0016】上記超高周波発振素子は、ダイヤモンド膜

上に一対の電極を離間して設け、この間に電圧を印加させつつ、パルスレーザ等の励起光を照射することにより電磁波を発生させるものである。ダイヤモンド膜中の光照射箇所は、たとえば上記一対の電極の間に挟まれたギャップ部分とするが、ダイヤモンド膜の全面を光照射箇所としてもよい。本発明においては、このパルスレーザ照射箇所を多結晶ダイヤモンドにより構成している。ダイヤモンド結晶は他の半導体材料と比較し絶縁耐圧が高いため、電極間に高電圧を印加することができ、励起光照射の際、高輝度の高周波電磁波を放射することができる。

【0017】また本発明の超高周波発振素子は、結晶粒の密度を一定値以上としているため粒界の数が従来の素子よりも増加している。このため再結合中心が増加し、発生したキャリアをすばやく消滅させることができる。

【0018】さらに本発明の超高周波発振素子は、素子を構成する多結晶ダイヤモンドの結晶粒の密度を一定値以上とし、禁制帯内に意図的に粒界の影響による準位を形成している。この準位を利用することにより、波長が比較的長い励起光を用いることが可能となる。たとえば従来技術では波長が長すぎて使うことのできなかったフェムト秒レーザを、本発明の超高周波発振素子の励起光として使用することができる。

【0019】以下、本発明の超高周波発振素子の構成および作用について、さらに詳細に説明する。

【0020】超高周波発振素子を高速動作させるためには励起光によって発生した光キャリアを再結合中心によってすばやく消滅させる必要がある。このため再結合中心を多く導入し、電極間の距離を極力短くする必要がある。また高出力動作させるためには電極間にできるだけ高い電圧を印加する必要があり、このため素子の構成材料には高い絶縁性が求められる。もしこの絶縁性が低いと高電圧を印加した際、リーク電流が多くなり信号のS/Nが悪化したり、絶縁破壊を起こし素子としては動作しなくなってしまう。つまり高速・高出力を実現するためには材料の絶縁耐圧性が高く光キャリアの再結合中心が多く存在することが重要である。

【0021】一方、ダイヤモンドを使用した従来の超高周波発振素子では、その禁制帯幅が5.5eVであるため励起光としては225nmより波長の短いレーザーが使われていた。しかしながらこの波長付近のレーザーはパルス半値幅がps(ピコセカンド)台である。したがって励起光としてこの種のレーザーを用いた場合、発生する光キャリアの寿命はps(ピコセカンド)以上となる。チタンサファイアレーザーをはじめとするフェムト秒のパルス半値幅をもつレーザーも開発されているが、たとえばチタンサファイアレーザーはその波長が760nmと長く、第2次高調波を用いてもダイヤモンドの価電子帯に存在する電子を直接伝導帯まで励起することはできない。このため炭素のみで構成された単結晶ダイヤモンドで構成された

超高周波発振素子に、上記フェムトレーザーをそのまま使用することはできない。

【0022】本発明では超高周波発振素子の材料に多結晶ダイヤモンドを使用している。多結晶ダイヤモンドの粒界は結晶構造の不連続性による欠陥が生じているだけでなく、不純物や成長時のストレスに起因する欠陥が存在するため、価電子帯より浅い準位を形成する。よって結晶粒の密度を上げれば価電子帯より浅い準位を有する部分が多くなる。この浅い準位は結果的に再結合中心となる。これにより波長の長いフェムト秒レーザーを使用しても、価電子帯からではなく、準位からの励起でキャリアの発生が可能となる。すなわち、従来のダイヤモンドの超高周波発振素子では使用することのできなかったフェムト秒レーザーを適用できるようになり、高速電気パルスの発生が可能となる。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明において、多結晶ダイヤモンドの結晶粒子密度は $10^6/cm^2$ 以上であることが好ましい。このようにすることにより、生成したキャリアの消滅速度を高め、発生するTHz電磁波の周波数を上げることができる。なお、結晶粒子密度の上限値は特に存在しないが、たとえば $10^9/cm^2$ 程度あれば充分高周波のTHz電磁波を得ることができる。

【0024】本発明において、一対の電極に挟まれた領域と、一対の電極の少なくとも一部とが、多結晶ダイヤモンドからなるオーバーコート膜で覆われた構成としてもよい。これによりさらに耐圧特性を向上させることができる。この場合、オーバーコート膜を構成する多結晶ダイヤモンドは、結晶粒子密度を $10^6/cm^2$ 以上とすることが好ましい。これにより、オーバーコート膜中に生成したキャリアの消滅速度を高め、発生するTHz電磁波の周波数を上げることができる。なお、結晶粒子密度の上限値は特に存在しないが、たとえば $10^9/cm^2$ 程度あれば充分高周波のTHz電磁波を得ることができる。

【0025】また本発明においては、多結晶ダイヤモンドの結晶粒の密度を一定値以上とし、禁制帶内に意図的に粒界の影響による準位を形成している。この準位を利用することにより、励起光のエネルギーを、多結晶ダイヤモンド膜のバンドギャップエネルギーより小さくすることができ、レーザ選択の幅が大きく広がる。たとえば、従来のダイヤモンド使用の超高周波発振素子では波長が長すぎて使うことのできなかったフェムト秒レーザ（パルス半値幅が 1.0ps 未満のレーザ）を、本発明の超高周波発振素子の励起光として使用することができる。

【0026】

【実施例】以下、実施例により本発明をさらに詳細に説明する。

【0027】（第1の実施例）図1は本発明の第1の実施例を示す超高周波発振素子の概略図である。基板1は

多結晶ダイヤモンド膜2を成長させる際の基体となる。この基板はCVD法によりダイヤモンドが成膜できるものであればよく、シリコン、モリブデン、白金、銅、SiC、セラミック基板などを用いることができる。多結晶ダイヤモンド膜2は励起光5によって光キャリアが発生する部分であり、CVD法により作製される。

【0028】電極3には電圧が印加されており、励起光5により多結晶ダイヤモンド膜2内に発生したキャリアがこの電極を流れる際、高周波電磁波を空間に放出する。オーバーコートダイヤモンド層4は多結晶ダイヤモンドからなり、電極3に高電圧を印加した際、電極間に放電が発生するのを防止する役割を有し、通常、CVD法によって電極上に形成される。励起光5は多結晶ダイヤモンド膜2及びオーバーコートダイヤモンド層4に照射され、多結晶ダイヤモンド膜2及びオーバーコートダイヤモンド層4中に光キャリアを発生させる。THz電磁波11は励起光5の照射により発生する。

【0029】図1に示す超高周波発振素子は次のような手順で作製を行った。まずシリコン基板1上に水素ガスとメタンガスを用いCVD法により多結晶ダイヤモンド膜2を成長させた。このとき、成長温度・水素ガスとメタンガスの濃度比・成膜圧力を制御すると、多結晶ダイヤモンド膜2を構成する多結晶ダイヤモンドの粒径を調整することができる。つまりこれらの条件の最適化を行えば多結晶ダイヤモンド膜2を構成する結晶粒子密度を制御することができる。この現象を利用してシリコン基板上に結晶粒子密度が $10^6/cm^2$ になるようにダイヤモンド膜4を $10\mu m$ 厚として作製した。CVD条件は、たとえば基板温度 $600\sim 800^\circ C$ 、成膜圧力 $1\sim 200\text{torr}$ 、ガス流量比を、 $(\text{CH}_4)/(\text{H}_2+\text{CH}_4)=0.005\sim 0.03$ とする。

【0030】次にスパッタリング法により、多結晶ダイヤモンド膜2上に電極3を構成する金属膜を成膜した。電極3は1対または2対以上形成する。本実施例では電極3に白金を用いているが、多結晶ダイヤモンド膜2とオーミック接触が得られる金属であれば他の金属を使用しても問題はない。また金属を成膜する前に多結晶ダイヤモンド膜2の表面を研磨してもよい。白金を成膜後、リソグラフィーによりパターン形成を行い、所望の電極形状を作製した。一対の電極の間に挟まれた電極ギャップの長さは $6\mu m$ とした。電極間ギャップを大きくしきすぎると、高い印加電界強度を得る際、電源の容量も大きくする必要が生じるという欠点がある。このため電極間のギャップは $1mm$ 以下にすることが好ましい。

【0031】電極形成後、電極間ギャップと電極3の向かい合った部分に、CVD法により絶縁破壊防止用のオーバーコートダイヤモンド層4を作製した（図1(b)）。本実施例では、オーバーコートダイヤモンド層4を形成する際に電極間ギャップとギャップ付近の電極3をあらかじめダイヤモンド粉末で研磨している。オ

一バーコートダイヤモンド層4は多結晶ダイヤモンド膜2から成長した結晶と、新たに核発生した微結晶が混在する。

【0032】以上のようにして作製した超高周波発振素子について結晶粒子密度を測定した。結晶粒子密度の測定は、表面のSEM写真を撮影し、その写真の結晶粒子を計測することにより測定した。本実施例の超高周波発振素子の結晶粒子密度(数密度)は、約 $10^6/cm^2$ であった。

【0033】図2に本実施例の超高周波発振素子を用いた高周波電磁波発生システムを示す。レーザー6は、超高周波発振素子10内にキャリアを発生させる励起光5を発生する。励起光5は超高周波発振素子10内に照射され、超高周波発振素子10中にキャリアを発生させる。ディレー7は、レーザー6と超高周波発振素子10から発生する電気パルスを測定する装置(図示しない)と同期する装置である。超高周波発振素子10は図1に示すものと同じものであり励起光5によって光キャリアが発生する。ミラー8はレーザーの進行方向を変えるものである。電源9は電極間に電圧を印加し、キャリアに移動エネルギーを与える。

【0034】次に、本実施例のダイヤモンド超高周波発振素子の動作について、図1を参照して詳細に説明する。超高周波発振素子を動作させるためにはまず光キャリアを発生させる必要がある。そこで励起光5を多結晶ダイヤモンド膜2及びオーバーコートダイヤモンド層4に照射する。本実施例ではパルス半値幅2psのKrFレーザーを励起光として用いた。励起光5をダイヤモンド膜4に照射を行うと、光キャリアとして電子と正孔が発生する。この光キャリアは多結晶ダイヤモンド膜2あるいはオーバーコートダイヤモンド層4内を移動するが、キャリアの発生量と、高周波電磁波を放出する電極3に到達するキャリア数が多いほど、発生する高周波電磁波の強度は強くなる。また高周波電磁波は光励起電流の変化によって発生するため、発生した光キャリアは直ちに消滅した方が好ましい。

【0035】図3に電極に印加した電界強度と発生した高周波電磁波の相対強度の関係を示す。この結果から、本実施例で示したダイヤモンド超高周波発振素子に対しては1MV/cm以上の高電界を印加することができ、かつ、このような高電界を印加することにより充分な強度のTHz電磁波が発生することがわかる。また、特に高強度のTHz電磁波を得るために、電極に印加する電界強度を上げればよいことがわかる。

【0036】(第2の実施例) 次に、本発明の他の実施

例について図面を参照して詳細に説明する。図4は本発明の第2の実施例を示す超高周波発振素子の断面図である。この超高周波発振素子は第1の実施例と同様の製造方法により作製される。構造上、第1の実施例の超高周波発振素子と異なる点は、第1の実施例においては多結晶ダイヤモンド膜4全体にわたって結晶粒子密度が $10^6/cm^2$ 以上となっているのに対し、第2の実施例においては多結晶ダイヤモンド膜4中の電極間に挟まれたギャップ部分のみが結晶粒子密度 $10^6/cm^2$ 以上となっている点である。このギャップ部分がレーザ照射箇所となる。

【0037】次に、図4の超高周波発振素子の動作について図を用いて詳細に説明する。

【0038】超高周波発振素子を動作させるためにはまず光キャリアを発生させる必要がある。そこで励起光5を多結晶ダイヤモンド膜2aに照射する。本実施例ではパルス半値幅2psのKrFレーザーを励起光として用いた。励起光5を多結晶ダイヤモンド膜2aに照射を行うと、光キャリアとして電子と正孔が発生する。発生した電子と正孔はそれぞれバイアスの印加された電極方向(電子は+側、正孔は-側)へ移動をはじめる。この時電子と正孔は多結晶ダイヤモンドを移動することになり、電極3に達するまでにダイヤモンドの結晶粒界を通過することになる。この結晶粒界は再結合中心として作用するため、光キャリアがここを通過する際消滅してしまうことになる。つまりダイヤモンドの結晶粒子密度を多くすれば、発生した光キャリアが結晶粒界に達するまでの距離が短くなる為、光キャリアが発生後すばやく消滅し、その結果高速動作することになる。図5は結晶粒子密度が高いほどキャリア消滅箇所が多いことを説明するための図である。ダイヤモンド結晶21の結晶粒界は再結合中心20として作用する。この結晶粒界は結晶粒子密度が高いほど多くなるので、結局、結晶粒子密度が高いほどキャリア消滅箇所が多くなることとなる。

【0039】表1に結晶密度の異なるダイヤモンド超高周波発振素子に照射したとき発生する放射電磁波強度(相対値)と、電気パルスの半値幅を示す。この結果結晶粒子密度を $10^6/cm^2$ 以上とするとパルス半値幅が20ps以下になること判明した。また電気パルス強度は $10^6/V/cm^2$ の時を1とし相対値で示しているが、この時ピークの強度はバックグラウンドの100倍以上あり、測定を行うS/N比としては十分であった。

【0040】

【表1】

結晶密度(cm^{-2})	10^9	10^8	10^7	10^6	10^5
放射電磁波強度	1.3	1.1	1.2	1	1.2
半値幅	12ps	13.5ps	14.5ps	15.3ps	87.7ps

【0041】以上のように、ダイヤモンド膜中の結晶粒子密度を $10^6/\text{cm}^2$ 以上にすることで、発生するTHz電磁波の周波数を上げることができる。

【0042】なお、本実施例では多結晶ダイヤモンド膜中の電極間に挟まれたギャップ部分のみを結晶粒子密度 $10^6/\text{cm}^2$ 以上としているが、多結晶ダイヤモンド膜全体にわたって結晶粒子密度 $10^6/\text{cm}^2$ 以上としても、表1と同様の結果が得られた。

【0043】(第3の実施例) 次に本発明の第3の実施例について図面を参照して詳細に説明する。図6は本発明の第3の実施例の超高周波発振素子を示す図である。基板1aはダイヤモンドを成長させる際の基体となる部分である。多結晶ダイヤモンド膜2aは励起光5aによって光キャリアが発生する部分であり、CVD法により作製される。励起光5a多結晶ダイヤモンド膜2aとオーバーコートダイヤモンド層4b内にキャリアを発生させる。電極3aは電界が印加される部分であり、かつ発生する電磁波を放出するものである。この電極3aは16対のマルチアレイ構造からなり、電極線幅 $40\mu\text{m}$ 、電極間ギャップ 1mm 、電極で囲まれた部分の面積を 7cm^2 とした。このマルチアレイ構造は電極の加工、印加電圧、THz放射強度等を考慮した場合、1対以上からなり電極線幅 $1\mu\text{m}$ 以上、電極間ギャップ 1mm 以下、電極で囲まれた面積が 0.1cm^2 以上であることが望ましい。オーバーコートダイヤモンド層4bは電極間の放電を防ぐ役割を果たし、かつ励起光によりキャリアを発生する部分となっている。THz波11は励起光5aの照射によって発生した電磁波である。図7は本発明の第3の実施例の高周波電磁波発生システムを示す。チタンサファイアレーザー23はフェムト秒のパルスを発生させることができ、超高周波発振素子10aにキャリアを発生させることで、発生した光キャリアが結晶粒界に達するまでの距離が短くなる為、光キャリアが発生後すぐ消滅し、その結果高速動作により速い電磁波を放射できるようになる。またTHz電磁波の放射強度は、励起光の照射面積の二乗に比例するため、電極構造をマルチアレイ構造としたことにより高輝度のTHzを得ることが出来る。

【0044】次に、図6の超高周波発振素子の動作について図面を参照して詳細に説明する。

【0045】超高周波発振素子を動作させるためにはまず光キャリアを発生させる必要がある。そこで励起光5aをダイヤモンド膜に照射する。本実施例ではパルス半

値幅100fsのチタンサファイアレーザーの第2高調波を励起光として用いた。第2高調波は図7に示す2次高調波発生器22でつくられる。励起光5aを多結晶ダイヤモンド膜2a及びオーバーコートダイヤモンド層4bに照射を行うと、光キャリアとして電子と正孔が発生する。チタンサファイアレーザーの第2高調波の波長は約380nmであり、ダイヤモンドの価電子帯から伝導体まで電子を励起するにはエネルギーが足りない。よってバルク内部から発生する光キャリアはほとんどなく、バンドギャップ内に準位をつくる結晶粒界で光キャリアが発生する。そのため膜の結晶密度が高いほど粒界の存在が多くなり、光キャリアの発生が多くなる。これにより電気パルスの強度が上がり、S/N比を向上させることができる。

【0046】発生した電子と正孔はそれぞれバイアスの印加された電極方向(電子は+側、正孔は-側)へ移動をはじめると、この時電子と正孔は多結晶ダイヤモンドを移動することになり、電極3aに達するまでにダイヤモンドの結晶粒界を通過することになる。この結晶粒界は再結合中心として作用するため、光キャリアがここを通過する際消滅してしまうことになる。つまりダイヤモンドの結晶密度を高くすれば、発生した光キャリアが結晶粒界に達するまでの距離が短くなる為、光キャリアが発生後すぐ消滅し、その結果高速動作により速い電磁波を放射できるようになる。またTHz電磁波の放射強度は、励起光の照射面積の二乗に比例するため、電極構造をマルチアレイ構造としたことにより高輝度のTHzを得ることが出来る。

【0047】本実施例では結晶粒子密度を高めることにより粒界を増加させているが、この粒界は、上述したように、フェムト秒レーザーを使用した際のキャリア発生箇所であると同時に光キャリアの再結合中心となる。すなわち、本実施例では結晶粒子密度を増大させることで、フェムト秒レーザーによるキャリア発生箇所、および再結合中心を増加させ、超高周波発振素子の高速高出力化を図っている。

【0048】表2にはパルス半値幅100fsのチタンサファイアレーザーを結晶密度の異なるダイヤモンド超高周波発振素子に照射したとき発生する放射電磁波強度と、電気パルスの全半値幅を示す。この結果結晶粒子密度が $10^6\text{ケ}/\text{cm}^2$ 以上のときパルス半値幅が1ps以下になることが判明した。また電気パルス強度は $10^6\text{ケ}/\text{cm}^2$ の時を1とし相対値で示しているが、この時ピークの強度はバックグラウンドの100倍以上あり、測定を行うS/N比としては十分であった。

【0049】

【表2】

結晶密度(g/cm^3)	10^9	10^8	10^7	10^6	10^5
放射電磁波速度	27	9.8	3.2	1	0.29
半価幅	780fs	880fs	940fs	1.0ps	5.7ps

【0050】

【発明の効果】以上説明したように本発明は、ダイヤモンド膜中の光照射箇所を多結晶ダイヤモンドにより構成している。このため多結晶ダイヤモンドの粒界がキャリアの再結合中心として作用し、キャリア寿命を短縮化できるので、高強度かつ高周波数のTHz電磁波を放出する超高周波発振素子を得ることができる。特に多結晶ダイヤモンドの結晶粒子密度が $10^6/\text{cm}^2$ 以上とすれば、生成したキャリアの消滅速度をより一層高め、さらに高強度かつ高周波数のTHz電磁波を放出する超高周波発振素子を得ることができる。

【0051】また、多結晶ダイヤモンドの粒界は価電子帯よりも浅いエネルギー準位を形成するため、比較的長波長のレーザー光を励起光として用いることが可能となる。これによりフェムトトレーザーの使用が可能となり、従来よりも高周波数のTHz電磁波を放出する超高周波発振素子を得ることができる。

【0052】また、一対の電極に挟まれた領域と、前記一対の電極の少なくとも一部とを、多結晶ダイヤモンドからなるオーバーコート膜で覆うことにより、超高周波発振素子の耐圧特性を向上させることができ、電極間にたとえば $1\text{MV}/\text{cm}$ 以上の高電界を印加することが可能となる。このような高電界を印加することで、より高強度のTHz電磁波を発生させることができる。

【0053】

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の超高周波発振素子の断面図である。

【図2】本発明の超高周波発振装置の概略構造を示す図である。

【図3】本発明の超高周波発振素子を用いた場合の電界強度と放出電磁波強度の関係を示す図である。

【図4】本発明の超高周波発振素子の断面図である。

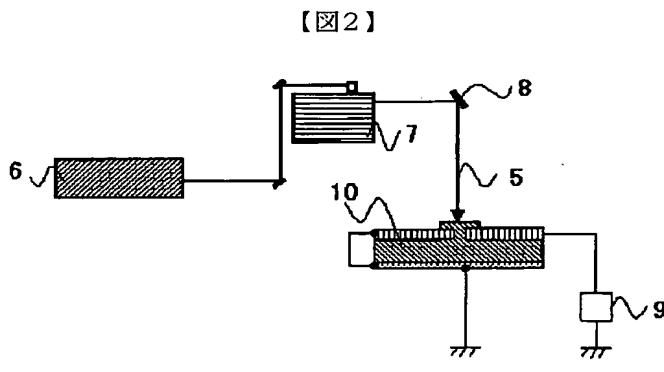
【図5】結晶粒子密度が高いほどキャリア消滅箇所が多いことを説明するための図である。

【図6】本発明の超高周波発振素子の断面図である。

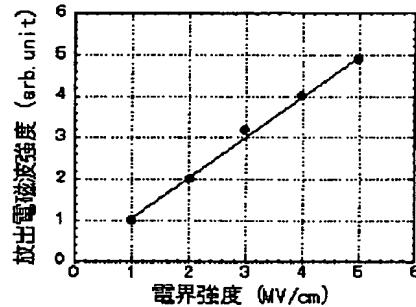
【図7】本発明の超高周波発振装置の概略構造を示す図である。

【符号の説明】

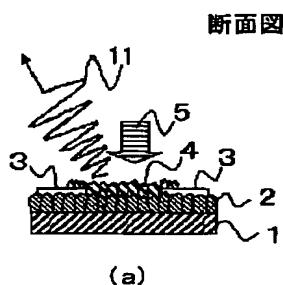
- 1、1a 基板
- 2、2a ダイヤモンド膜
- 3 電極
- 4、4a、4b オーバーコートダイヤモンド膜
- 5 励起光
- 6 レーザー
- 7 ディレー
- 8 ミラー
- 9 電源
- 10、10a、10b 超高周波発振素子
- 11 THz波
- 20 再結合中心
- 21 ダイヤモンド結晶
- 22 2次高調波発生器
- 23 チタンサファイアレーザー



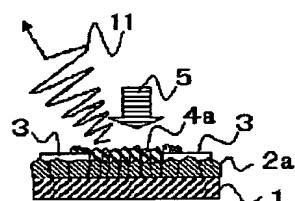
【図2】



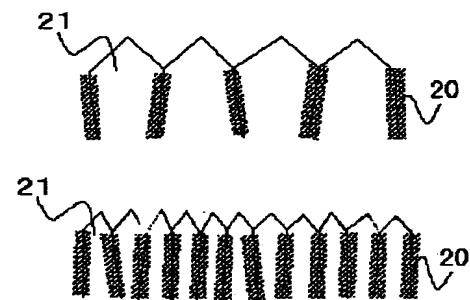
【図1】



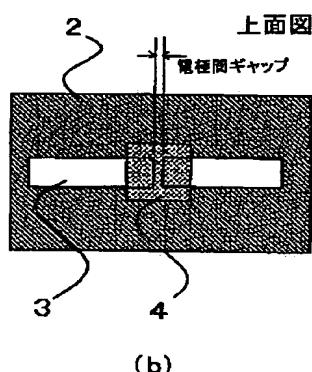
【図4】



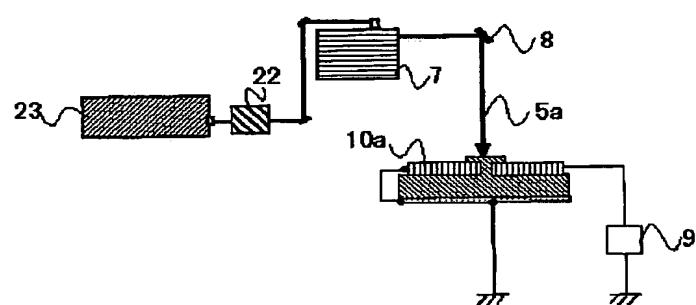
【図5】



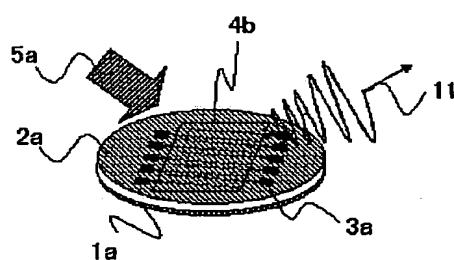
上面図



【図7】



【図6】



フロントページの続き

F ターム(参考) 4G077 AA03 AB03 BA03 DB07 ED06
EJ03 HA06
5F072 AB20 KK05 KK26 KK30 SS06
YY20